

***MULTIPLE OBJECT RECOGNITION DENGAN MENGGUNAKAN
ALGORITMA SPEEDED-UP ROBUST FEATURES (SURF) DAN ALGORITMA
PENCOCOKAN RANDOMIZED KD-TREE***

oleh

Samuel Alvin Hutama

NIM: 612012004



Skripsi

Untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh

Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer

Universitas Kristen Satya Wacana

Salatiga

Desember 2015



PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS
UNIVERSITAS KRISTEN SATYA WACANA
Jl. Diponegoro 52 – 60 Salatiga 50711
Jawa Tengah, Indonesia
Telp. 0298 – 321212, Fax. 0298 321433
Email: library@adm.uksw.edu ; http://library.uksw.edu

PERNYATAAN PERSETUJUAN AKSES

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Samuel Alvin Hutama
NIM : 612012004 Email : samuel.alvin1994@gmail.com
Fakultas : Teknik Elektronika dan Komputer Program Studi : Teknik Elektro
Judul tugas akhir : Multiple Object Recognition dengan menggunakan algoritma
Speeded-Up Robust Features (SURF) dan algoritma pencocokan
Randomized KD-Tree

Dengan ini saya menyerahkan hak *non-eksklusif** kepada Perpustakaan Universitas – Universitas Kristen Satya Wacana untuk menyimpan, mengatur akses serta melakukan pengelolaan terhadap karya saya ini dengan mengacu pada ketentuan akses tugas akhir elektronik sebagai berikut (beri tanda pada kotak yang sesuai):

- ☐ a. Saya mengizinkan karya tersebut diunggah ke dalam aplikasi Repositori Perpustakaan Universitas, dan/atau portal GARUDA
- ☒ b. Saya tidak mengizinkan karya tersebut diunggah ke dalam aplikasi Repositori Perpustakaan Universitas, dan/atau portal GARUDA**

* Hak yang tidak terbatasnya bagi satu pihak saja. Pengajar, peneliti, dan mahasiswa yang menyerahkan hak non-eksklusif kepada Repositori Perpustakaan Universitas saat mengumpulkan hasil karya mereka masih memiliki hak copyright atas karya tersebut.

** Hanya akan menampilkan halaman judul dan abstrak. Pilihan ini harus dilampiri dengan penjelasan/ alasan tertulis dari pembimbing TA dan diketahui oleh pimpinan fakultas (dekan/kaprodi).

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Salatiga, 01 Februari 2016.

Samuel Alvin Hutama
Tanda tangan & nama terang mahasiswa

Mengetahui,

Tanda tangan & nama terang pembimbing I

Sapardi Nugroho
Tanda tangan & nama terang pembimbing II



PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS
UNIVERSITAS KRISTEN SATYA WACANA
Jl. Diponegoro 52 – 60 Salatiga 50711
Jawa Tengah, Indonesia
Telp. 0298 – 321212, Fax. 0298 321433
Email: library@adm.uksw.edu ; http://library.uksw.edu

PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Samuel Alvin Utama
NIM : 612012004 Email : Samuel.alvin1994@gmail.com
Fakultas : Teknik Elektronika dan Komputer Program Studi : Teknik Elektro
Judul tugas akhir : Multiple Object Recognition dengan menggunakan algoritma
Speeded-Up Robust Features (SURF) dan algoritma pencocohan
Randomized kD-Tree
Pembimbing : 1. Darmawan Utomo, M. Eng.
2. Saptadi Nugroho, M. Sc.

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Hasil karya yang saya serahkan ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan baik di Universitas Kristen Satya Wacana maupun di institusi pendidikan lainnya.
2. Hasil karya saya ini bukan saduran/terjemahan melainkan merupakan gagasan, rumusan, dan hasil pelaksanaan penelitian/implementasi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan pembimbing akademik dan narasumber penelitian.
3. Hasil karya saya ini merupakan hasil revisi terakhir setelah diujikan yang telah diketahui dan disetujui oleh pembimbing.
4. Dalam karya saya ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali yang digunakan sebagai acuan dalam naskah dengan menyebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila di kemudian hari terbukti ada penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya saya ini, serta sanksi lain yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Kristen Satya Wacana.

Salatiga, 2 Februari 2016



Tanda tangan & nama terang mahasiswa

**MULTIPLE OBJECT RECOGNITION DENGAN MENGGUNAKAN
ALGORITMA SPEEDED-UP ROBUST FEATURES (SURF) DAN ALGORITMA
PENCOCOKAN RANDOMIZED KD-TREE**

oleh
Samuel Alvin Hutama
NIM: 612012004

Skripsi ini telah diterima dan disahkan
Untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
dalam
Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Elektronika Dan Komputer
Universitas Kristen Satya Wacana
Salatiga

Disahkan oleh

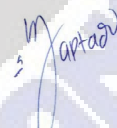
Pembimbing I



Darmawan Utomo, M.Eng.

Tanggal: 26-1-2016

Pembimbing II



Saptaji Nugroho, M.Sc.

Tanggal: 26 Januari 2016

PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya, yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA: Samuel Alvin Hutama

NIM: 612012004

JUDUL SKRIPSI: *MULTIPLE OBJECT RECOGNITION DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA SPEEDED-UP ROBUST FEATURES (SURF) DAN ALGORITMA PENCOCOKAN RANDOMIZED KD-TREE*

Menyatakan bahwa skripsi tersebut di atas bebas plagiat. Apabila ternyata ditemukan di unsur plagiat di dalam skripsi saya, maka saya bersedia mendapatkan sanksi apa pun sesuai aturan yang berlaku.

Salatiga, Desember 2015



Samuel Alvin Hutama

1956

INTISARI

Implementasi dari algoritma SURF pada awalnya diterapkan pada proses pengenalan *single object recognition*. Pada tugas akhir ini diusulkan cara untuk merealisasikan *multiple different-object recognition* dan *multiple same-object recognition* menggunakan algoritma SURF. Sistem diharapkan dapat mengenali semua obyek yang terdapat pada sebuah citra masukan dan terdaftar di dalam sistem.

Perangkat keras sistem terdiri dari sebuah kamera Pi, Raspberry Pi, dan laptop. Kamera Pi memiliki resolusi 5 MP yang digunakan mengambil citra masukan. Raspberry Pi berfungsi untuk mengirimkan citra masukan via LAN ke program utama yang terdapat di laptop. Program utama akan mengenali obyek-obyek yang terdapat di dalam citra masukan tersebut. Dalam melakukan proses pengenalan, digunakan algoritma *randomized KD-Tree* dalam mencocokkan deskriptor antara obyek pada citra dengan obyek yang sudah terdaftar di dalam sistem.

Pengujian bertujuan untuk mengetahui karakteristik algoritma SURF, karakteristik dari obyek yang dapat dikenali, serta kemampuan sistem secara keseluruhan dalam melakukan pengenalan. Penentuan karakteristik ditentukan berdasarkan parameter uji berupa iluminasi, *noise*, rotasi, ukuran obyek, sudut pandang obyek, jumlah obyek, varian obyek, dan latar belakang obyek.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa SURF bersifat *rotation-invariant* dan kenaikan tingkat iluminasi dari 54 lux sampai 1530 lux masih dapat ditoleransi oleh SURF. Obyek dapat dikenali apabila SNR pada citra bernilai lebih besar atau sama dengan 28 dB, sudut pandang obyek lebih kecil atau sama dengan 40°, dan terdapat bagian yang konsisten di mana terdapat *keypoint* dengan jumlah lebih besar dari 44 pada citra masukan. Dari 40 buah obyek yang sudah terdaftar di dalam sistem, daerah kerja kamera yang berjarak 60 cm, dan 30 kali uji pengenalan pada 10 buah obyek di dalam citra masukan, akurasi sistem dalam melakukan pengenalan adalah 97%.

ABSTRACT

SURF algorithm was first implemented on a single object recognition. In this final project, an implementation using the algorithm on multiple different-object recognition and multiple same-object recognition is proposed. The proposed system is expected to recognize all of the registered objects which are shown in an input image.

The system's hardware consists of a Pi camera module, a Raspberry Pi board, and a laptop. The camera has a resolution of 5 megapixel to capture an input image. The Raspberry Pi board is used to send the image to the laptop which has the main program. The program will do the multiple object recognition on the input image. In the recognition process, the randomized KD-Tree algorithm is used to match each descriptor of the input image's objects and the registered objects.

A series of tests is done in order to understand the characteristic of SURF, the characteristic of the recognizable object, and the system capability to do the recognition. Illumination, noise, object size, object viewpoint, the number of objects, object variant, and object background are used for the test parameters to determine the characteristic.

The test results show that SURF is rotation-invariant and the increase of illumination from 54 lux up to 1530 lux is tolerated by the SURF algorithm. An object is recognizable if the SNR in the image is more than 28 dB, object viewpoint is less than 40°, and there is a fixed part of the object which has more than 44 keypoints. From the 40 registered objects, 60 cm as the camera working distance, and 30 recognition tests on 10 objects located in the input image, the accuracy of the proposed system to do the recognition is 97%.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang selalu menyertai penulis selama menempuh pendidikan dari awal hingga penyelesaian tugas akhir sebagai syarat kelulusan di Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer Universitas Kristen Satya Wacana.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang baik secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang selalu memberkati, menyertai, dan memberikan segala yang terbaik bagi penulis selama menempuh pendidikan S1 di FTEK UKSW dari awal hingga akhir.
2. Papa David Susantoh dan Mama Purwani Soetrisno tercinta sebagai keluarga yang selalu mendidik, mendukung, mendoakan, serta memberikan semua yang terbaik untuk penulis.
3. Bapak Darmawan Utomo, M.Eng. dan Bapak Saptadi Nugroho, M.Sc. sebagai pembimbing I dan pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan saran serta masukan kepada penulis selama mengerjakan tugas akhir ini.
4. Yang terkasih Saudari Rachel Agustine Wikamta dan Tante Moerningsih Soetrisno yang selalu memberi dukungan dan doa kepada penulis selama penulis mengerjakan tugas akhir.
5. Seluruh staff dosen, karyawan dan laboran FTEK yang memfasilitasi penulis selama menempuh pendidikan S1 di FTEK UKSW.
6. Keluarga besar 2012, terutama Saudara Kwang Dharma Saelau, Adi Gunawan, Keenan Adidharma Kurniawan, Yohanes Candra dan Fandy Oktavianus sebagai teman seperjuangan yang selalu memberi dukungan kepada penulis.
7. Teman-teman FTEK, terutama Saudara Oei Kurniawan Utomo, Yohanes Haryudanta, dan Rudy Santoso Lukito.
8. Berbagai pihak yang tidak dapat dituliskan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata “sempurna”, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca sehingga tugas akhir ini dapat berguna bagi kemajuan pendidikan FTEK UKSW.

Salatiga, 2 Desember 2015

Penulis



DAFTAR ISI

INTISARI	i
ABSTRACT.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR GRAFIK.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR SIMBOL	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Tujuan.....	1
1.2. Latar Belakang.....	1
1.2.1. Pendahuluan.....	1
1.2.2. Permasalahan.....	2
1.3. Gambaran Sistem.....	3
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II DASAR TEORI.....	7
2.1. Object Recognition	7
2.1.1. True Recognition	9
2.1.2. False Recognition	9
2.1.3. Misdetction.....	9
2.2. Feature	9
2.3. Algoritma SURF.....	11
2.4. Perbedaan dari Algoritma SURF terhadap SIFT	17
2.5. Randomized KD-Tree pada <i>Fast Library for Approximate Nearest Neighbors</i> (FLANN) OpenCV.....	18
2.6. <i>Open Source Computer Vision</i> (OpenCV).....	19
2.6.1. <i>class</i> FeatureDetector.....	20
2.6.2. <i>class</i> DescriptorExtractor.....	20

2.6.3. <i>class</i> FileStorage	21
2.6.4. <i>class</i> FlannBasedMatcher	21
2.6.5. Pembacaan serta penulisan citra	22
2.7. Raspberry Pi.....	22
2.7.1. Fungsi dalam <i>library</i> socket	23
2.7.2. Fungsi dalam <i>library</i> os	24
2.7.3. Gaussian Noise pada Matlab.....	24
BAB III PERANCANGAN SISTEM.....	27
3.1. Use Case Diagram Sistem.....	27
3.2. Desain Perangkat Keras	27
3.2.1. Kamera Pi	28
3.2.2. Raspberry Pi.....	28
3.2.3. Laptop	29
3.3. Desain Perangkat Lunak	29
3.3.1. Pengiriman Citra oleh Raspberry Pi	29
3.3.2. <i>Multiple Object Recognition</i> pada Laptop	29
3.3.3. GUI pada Laptop	33
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS	35
4.1. Istilah yang digunakan dalam pengujian	37
4.2. Pengujian 1 – Latar belakang obyek (Hitam/Putih).....	38
4.3. Pengujian 2 – <i>Noise</i> dan rotasi.....	42
4.3.1. Pengujian terhadap <i>noise</i>	42
4.3.2. Pengujian terhadap rotasi.....	46
4.4. Pengujian 3 – Ukuran obyek.....	46
4.5. Pengujian 4 - Iluminasi.....	47
4.6. Pengujian 5 – Varian obyek.....	52
4.7. Pengujian 6 – Sudut pandang obyek.....	56
4.8. Pengujian 7 – Pengukuran akurasi pengenalan obyek oleh sistem.....	58
4.9. Pengujian 8 – Pengenalan pada obyek yang tidak ada dalam database.....	59
4.10. Pengujian 9 – Pengiriman citra masukan dari Raspberry Pi ke laptop.....	60
4.11. Hubungan pengujian terhadap spesifikasi tugas akhir.....	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	63

5.1. Kesimpulan	63
5.2. Saran Pengembangan	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN A.....	66
LAMPIRAN B.....	84



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Simbol yang akan dikenali pada sistem yang dibuat oleh Mario Bunda Setiawan [3, h. 36].....	2
Gambar 1.2. Sebuah obyek di dalam suatu citra masukan yang akan dikenali [2, h. 11]	3
Gambar 1.3. Diagram sistem secara keseluruhan.....	3
Gambar 1.4. Kamera menghadap ke bawah, jarak disesuaikan agar dapat menangkap obyek-obyek dalam area 50x50 cm dengan latar belakang polos	5
Gambar 2.1. Pengenalan pada citra masukan yang memberikan hasil <i>true recognition</i> (a), <i>false recognition</i> (b), dan <i>misdetction</i> (c)	8
Gambar 2.1a. “pejoy” terdaftar pada database dan pemberian label berada tepat di daerah “pejoy” pada citra masukan, maka hasil pengenalannya adalah <i>true recognition</i>	8
Gambar 2.1b. Pemberian label “pocky” yang berada di daerah “pejoy” pada citra masukan, hasil pengenalan ini disebut dengan <i>false recognition</i>	8
Gambar 2.1c. “semnylight” terdaftar pada database, tetapi tidak ada pemberian label “semnylight” yang berada tepat di daerah “semnylight” pada citra masukan, hasil pengenalan ini disebut dengan <i>misdetction</i>	8
Gambar 2.2. Contoh <i>feature</i> yang didapatkan dari sebuah obyek buku katalog Elektro yang ditunjukkan oleh tanda panah.....	10
Gambar 2.3. Filter Gaussian dengan ukuran dan skala secara berurutan 9x9 dan 1.2 (a), 9x9 dan 0.3 (b), 27x27 dan 3.6 (c), 27x27 dan 7 (d).....	11
Gambar 2.3a. Filter Gaussian ukuran 9x9 dengan skala 1.2	11
Gambar 2.3b. Filter Gaussian ukuran 9x9 dengan skala 0.3	11
Gambar 2.3c. Filter Gaussian ukuran 27x27 dengan skala 3.6	11
Gambar 2.3d. Filter Gaussian ukuran 27x27 dengan skala 7	11
Gambar 2.4. <i>Box filter Gxx</i> berukuran 9x9 (b) dan 15x15 (d) yang merupakan pendekatan dari turunan orde 2 filter Gaussian <i>Gxx</i> 9x9 (a) dan 15x15 (c).....	12
Gambar 2.4a. <i>Gxx</i> ukuran 9x9 dengan skala 1.2	12
Gambar 2.4b. <i>Box filter Gxx</i> ukuran 9x9 dengan skala 1.2	12
Gambar 2.4c. <i>Gxx</i> ukuran 15x15 dengan skala 2	12
Gambar 2.4d. <i>Box filter Gxx</i> ukuran 15x15 dengan skala 2	12
Gambar 2.5. Gaussian <i>Gyy</i> (a) dan <i>Gxy</i> (b) yang diubah menjadi <i>box filter</i> [1, h. 5].....	13
Gambar 2.5a. Gaussian <i>Gyy</i> pada <i>box filter</i>	13

Gambar 2.5b. Gaussian G_{xy} pada <i>box filter</i>	13
Gambar 2.6. Perhitungan daerah yang diarsir dengan menggunakan teknik integral adalah dengan $D+A-B-C$ di mana nilai tiap titik merupakan penjumlahan semua piksel dari koordinat (0,0) sampai ke koordinat titik tersebut.....	14
Gambar 2.7. Hubungan antara oktaf, ukuran filter, dan skalanya	14
Gambar 2.8. Sebuah <i>nonmaximum suppression</i> dalam daerah $3 \times 3 \times 3$ untuk menentukan <i>keypoint</i>	15
Gambar 2.9. Filter <i>Haar Wavelet</i> dx (a) dan dy (b) [2, h. 6]	16
Gambar 2.9a. Filter dx	16
Gambar 2.9b. Filter dy	16
Gambar 2.10. Penentuan orientasi dominan dari sebuah daerah yang dianggap <i>keypoint</i> (a) dengan <i>Haar Wavelet</i> pada koordinat kartesius (b).....	16
Gambar 2.10a. Daerah yang merupakan <i>keypoint</i>	16
Gambar 2.10b. Tiap piksel yang telah diberi <i>Haar Wavelet</i>	16
Gambar 2.11. Daerah kotak pada <i>keypoint</i> yang dibagi menjadi 4×4 daerah kecil dan difilter lagi dengan <i>Haar Wavelet</i> dx dan dy untuk mendapatkan vektor deskriptor v	17
Gambar 2.12. <i>Scale-space</i> dari SIFT (a) dan SURF (b) [6, h. 3]	18
Gambar 2.12a. <i>Scale-space</i> dari SIFT dengan memperkecil ukuran gambar.....	18
Gambar 2.12b. <i>Scale-space</i> dari SURF dengan memperbesar ukuran filter	18
Gambar 2.13. Bentuk dari Raspberry Pi 1 versi B.....	22
Gambar 2.14. Fungsi $f_x(x)$ yang merupakan sebuah fungsi distribusi Gaussian [11, hal. 10].....	25
Gambar 2.15. Pengaruh nilai <i>mean</i> pada citra masukan, di mana citra asli memiliki nilai <i>mean</i> nol (a), citra yang semakin terang memiliki nilai <i>mean</i> positif (b), dan citra yang semakin gelap memiliki nilai <i>mean</i> negatif (c)	25
Gambar 2.15a. Citra masukan, <i>mean</i> = 0.....	25
Gambar 2.15b. Citra dengan <i>mean</i> = 0.5	25
Gambar 2.15c. Citra dengan <i>mean</i> = -0.5	25
Gambar 2.16. Pengaruh <i>mean</i> dan <i>variance</i> terhadap fungsi distribusi Gaussian $f_x(x)$ [11, hal. 11]	26
Gambar 3.1. <i>Use case diagram</i> dari sistem	27
Gambar 3.2. Desain perangkat keras untuk pengambilan citra masukan	28
Gambar 3.3. Diagram alir algoritma pengiriman citra oleh Raspberry Pi.....	29

Gambar 3.4. Diagram alir algoritma <i>multiple object recognition</i>	30
Gambar 3.5. Diagram alir algoritma pemrosesan citra masukan untuk <i>multiple same-object recognition</i>	31
Gambar 3.6. Tampilan GUI pada laptop.....	33
Gambar 4.1. Contoh dari obyek yang dikenali pada citra	37
Gambar 4.2. Pengujian terhadap latar belakang hitam (a) dan putih (b)	39
Gambar 4.2a. Pengenalan 10 buah obyek pada latar hitam menggunakan SURF	39
Gambar 4.2b. Pengenalan 10 buah obyek pada latar putih menggunakan SURF	39
Gambar 4.3. Obyek “pejoy” (a), “Goodtime” (b), dan “Tehbotol” (c) yang harus dikenali oleh sistem	39
Gambar 4.3a. “pejoy”	39
Gambar 4.3b. “Goodtime”	39
Gambar 4.3c. “Tehbotol”	39
Gambar 4.4. Latar belakang hitam (a) dan putih (b) yang keduanya diusapkan pada alas berdebu.....	41
Gambar 4.4a. Latar belakang hitam.....	41
Gambar 4.4b. Latar belakang putih	41
Gambar 4.5. Hasil deteksi <i>keypoint</i> pada latar hitam (a) dan putih (b)	41
Gambar 4.5a. Debu tidak tampak jelas	41
Gambar 4.5b. Debu tampak jelas.....	41
Gambar 4.6. Performa sistem semakin berkurang dengan bertambahnya <i>noise</i> , dari 40 dB (a), 30 dB (b), 26 dB (c), sampai 10 dB (d).....	44
Gambar 4.6a. Citra dengan SNR = 40 dB	44
Gambar 4.6b. Citra dengan SNR = 30 dB	44
Gambar 4.6c. Citra dengan SNR = 26 dB	44
Gambar 4.6d. Citra dengan SNR = 10 dB	44
Gambar 4.7. Pengukuran tingkat iluminasi menggunakan luxmeter pada alat, dari tanpa lampu (a), 1 lampu (b), 2 lampu (c), 3 lampu (d), sampai 4 lampu (d)	48
Gambar 4.7a. Tanpa lampu.....	48
Gambar 4.7b. 1 lampu.....	48
Gambar 4.7c. 2 lampu.....	48
Gambar 4.7d. 3 lampu.....	48

Gambar 4.7e. 4 lampu.....	48
Gambar 4.8. Pengujian iluminasi pada malam hari dengan sebuah lampu (a) dan 4 buah lampu (b), serta pada pagi hari tanpa menggunakan lampu (c)	49
Gambar 4.8a. Pengujian pada malam hari 1 lampu	49
Gambar 4.8b. Pengujian pada malam hari 4 lampu.....	49
Gambar 4.8c. Pengujian pada pagi hari tanpa lampu	49
Gambar 4.9. Obyek “semnylight” yang tidak dapat dikenali oleh sistem	54
Gambar 4.10. Pantulan cahaya mengakibatkan sebagian dari obyek tidak dapat dideteksi keypointnya	54
Gambar 4.11. Sebuah obyek yang merk (a) atau gambarnya (b) terpantul cahaya tetapi masih dapat dikenali	55
Gambar 4.11a. Pantulan ada pada merk	55
Gambar 4.11b. Pantulan ada pada gambar	55
Gambar 4.12. Sebuah sampel yang terdapat bagian tidak konsisten.....	55
Gambar 4.13. Pencocokkan antara dua buah obyek “formula”	56
Gambar 4.14. Prosedur pengujian akurasi pengenalan obyek oleh sistem.....	58
Gambar 4.15. Terdapat empat buah obyek yang tidak terdaftar dalam database, yaitu “MYTEA”, “CRAYON SHINCHAN”, “NUTRILITE”, dan “Tessa”.....	59
Gambar B.1. “formula”	85
Gambar B.2. “wonderland”	85
Gambar B.3. “superbubur”	85
Gambar B.4. “soklin”	85
Gambar B.5. “sariijo”	85
Gambar B.6. “sariasem”	85
Gambar B.7. “popmie”	85
Gambar B.8. “otico”	85
Gambar B.9. “aw”	86
Gambar B.10. “enaak”	86
Gambar B.11. “peraturanpka”	86
Gambar B.12. “pedomankkm”	86
Gambar B.13. “omb2012”	86
Gambar B.14. “mahatma”	86
Gambar B.15. “fisika4”	86
Gambar B.16. “alfredbn”	86

Gambar B.17. “alexandergb”	87
Gambar B.18. “wreckthis”	87
Gambar B.19. “shinyoku”	87
Gambar B.20. “semnylight”	87
Gambar B.21. “samkok”	87
Gambar B.22. “raspicam”	87
Gambar B.23. “pocky”	87
Gambar B.24. “gofruit”	87
Gambar B.25. “cataflam”	88
Gambar B.26. “chitato”	88
Gambar B.27. “yo”	88
Gambar B.28. “tehkotak”	88
Gambar B.29. “tehbotol”	88
Gambar B.30. “pejoy”	88
Gambar B.31. “pancasila”	88
Gambar B.32. “misedap”	88
Gambar B.33. “miabc”	89
Gambar B.34. “kecerdasanbuatan”	89
Gambar B.35. “katalog”	89
Gambar B.36. “goodtime”	89
Gambar B.37. “tango”	89
Gambar B.38. “gerysaluut”	89
Gambar B.39. “fretea”	89
Gambar B.40. “chocolatos”	89

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Perbandingan waktu pengenalan pada latar putih dan hitam	40
Grafik 4.2. Pengaruh <i>noise</i> terhadap SURF pada citra dengan garis biru merepresentasikan <i>true recognition</i> , merah merepresentasikan <i>false recognition</i> , dan hijau merepresentasikan <i>misdetection</i>	45
Grafik 4.3. Pengaruh <i>noise</i> terhadap SIFT pada citra dengan garis biru merepresentasikan <i>true recognition</i> , merah merepresentasikan <i>false recognition</i> , dan hijau merepresentasikan <i>misdetection</i>	45
Grafik 4.4. Hasil pengujian ukuran obyek dengan menggunakan SURF dan SIFT	47
Grafik 4.5. Pengaruh iluminasi terhadap SURF	51
Grafik 4.6. Pengaruh iluminasi terhadap SIFT	51
Grafik 4.7. Pengujian varian obyek menggunakan SURF.....	53
Grafik 4.8. Pengujian varian obyek menggunakan SIFT	53
Grafik 4.9. Pengujian sudut pandang obyek menggunakan SURF dan SIFT.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spesifikasi dari Raspberry Pi 1 dan 2	23
Tabel 4.1. Tabel Pengujian	36
Tabel 4.2. Nilai <i>variance</i> yang bersesuaian dengan nilai tiap SNR yang diujikan.....	43
Tabel 4.3. Nilai iluminasi yang didapat pada pengukuran dengan luxmeter.....	48
Tabel 4.4. Jumlah <i>keypoint</i> dari 10 buah obyek yang diuji	52
Tabel 4.5. Poin-poin spesifikasi yang dipenuhi.....	61
Tabel A.1. Pengujian dengan menggunakan SURF pada latar hitam.....	65
Tabel A.2. Pengujian dengan menggunakan SURF pada latar putih.....	66
Tabel A.3. Pengujian dengan menggunakan SIFT pada latar hitam	67
Tabel A.4. Pengujian dengan menggunakan SIFT pada latar putih	68
Tabel A.5. Hasil pengenalan obyek menggunakan SURF terhadap citra dengan <i>noise</i> yang bervariasi	69
Tabel A.6. Hasil pengenalan obyek menggunakan SIFT terhadap citra dengan <i>noise</i> yang bervariasi	70
Tabel A.7. Hasil pengujian SURF dan SIFT terhadap rotasi.....	71
Tabel A.8. Pengujian terhadap ukuran obyek menggunakan SURF	72
Tabel A.9. Pengujian terhadap ukuran obyek menggunakan SIFT	73
Tabel A.10. Hasil uji pengenalan SURF terhadap varian obyek	75
Tabel A.11. Hasil uji pengenalan SIFT terhadap varian obyek.....	76
Tabel A.12. Pengujian terhadap sudut pandang menggunakan SURF	77
Tabel A.12a. Sudut pandang pada obyek dengan permukaan rata	77
Tabel A.12b. Sudut pandang pada obyek dengan permukaan berbentuk bundar	77
Tabel A.13. Pengujian terhadap sudut pandang menggunakan SIFT	78
Tabel A.13a. Sudut pandang pada obyek dengan permukaan rata	78
Tabel A.13b. Sudut pandang pada obyek dengan permukaan berbentuk bundar	78
Tabel A.14. Pengujian akurasi pengenalan obyek menggunakan SURF	79
Tabel A.15. Pengujian akurasi pengenalan obyek menggunakan SIFT	80
Tabel A.16. Pengenalan obyek yang tidak terdaftar dalam database menggunakan SURF	81

Tabel A.17. Pengenalan obyek yang tidak terdaftar dalam database menggunakan SIFT	81
Tabel A.18. Waktu dan tingkat keberhasilan pengiriman citra masukan	82
Tabel B.1. Kumpulan obyek yang terdaftar di dalam database	84



DAFTAR SIMBOL

\mathcal{H}	Matriks Hessian
σ	Skala dari filter Gaussian
L_{xx}	Hasil konvolusi dari filter Gaussian yang diturunkan dua kali terhadap x dengan citra.
L_{yy}	Hasil konvolusi dari filter Gaussian yang diturunkan dua kali terhadap y dengan citra.
L_{xy}	Hasil konvolusi dari filter Gaussian yang diturunkan terhadap x dan y dengan citra.
G	Filter Gaussian
G_x	Filter Gaussian yang diturunkan terhadap x
G_y	Filter Gaussian yang diturunkan terhadap y
G_{xy}	Filter Gaussian yang diturunkan terhadap x dan y
G_{yx}	Filter Gaussian yang diturunkan terhadap y dan x
G_{xx}	Filter Gaussian yang diturunkan dua kali terhadap x
G_{yy}	Filter Gaussian yang diturunkan dua kali terhadap y
dx	Filter <i>Haar Wavelet</i> pada sumbu x
dy	Filter <i>Haar Wavelet</i> pada sumbu y
\mathbf{v}	Vektor deskriptor SURF
var_i	nilai <i>variance</i> pada dimensi ke-i
D_{ij}	dimensi ke-i yang dimiliki oleh data ke-j
$mean_i$	rerata nilai dari dimensi ke-i
$f_x(x)$	Fungsi distribusi Gaussian pada sumbu x

DAFTAR SINGKATAN

SURF	<i>Speeded-Up Robust Features</i>
SIFT	<i>Scale Invariant Feature Transform</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
DoG	<i>Difference of Gaussian</i>
BSD	<i>Berkeley Software Distribution</i>
SNR	<i>Signal to Noise Ratio</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
ANN	<i>Approximate Nearest Neighbor</i>
FLANN	<i>Fast Library for Approximate Nearest Neighbors</i>
OpenCV	<i>Open Source Computer Vision</i>